

## ЕЛЕМЕНТИ ЦИФРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В КОНТРОЛІ СТАНУ МЕРЕЖІ, ЩО ПОБУДОВАНІ НА ВИМІРАХ ДОПОМІЖНИХ ПАРАМЕТРІВ

О. Г. ГРИБ, І. Т. КАРПАЛЮК, С. В. ШВЕЦЬ, Н. В. РУДЕВИЧ

кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА  
\*e-mail: [humpway@gmail.com](mailto:humpway@gmail.com)

**АННОТАЦІЯ.** У статті розглядається питання переходу технологій електроенергетики до цифрових станцій. Наведено огляд матеріалів фірм Siemens і ABB які де факто встановлюють стандарти цифрових технологій для енергетики. Створення цифрових станцій зачіпає питання які до цього часу не розглядалися в такій зв'язці. Тому була сформована тріада: цифрове управління – моніторинг стану обладнання – кібербезпека. Виходячи з такої тріади енергетика в цифровому втіленні набуває нових граней, що відкриває нові можливості до використання діагностики і збору даних датчиками побудованими на опосередкованих даних, і відповідно кількість датчиків значно зростає якщо це взяти до уваги можливості виконувати моніторинг первинних технологічних процесів. В такому разі значно вирастає обсяг даних що надходять. Відповідно до сучасних тенденцій і зростають вимоги до якості електрики в мережі. Одним з чинників зіпсування форми напруги в мережі є коронний розряд, який виникає в мережі і на обладнанні навіть під час пережоху до цифровій станції. Провідні фірми розробляють прилади і системи з діагностики наявності коронного розряду в мережі по не електричним параметрам. На прикладі таких замірів показана можливість діагностики не прямими вимірами в мережі. Такі заміри мають призводити до збільшення обсягу даних. Відповідно обробка таких масивів даних стає можливою за умови використання цифрових технологій, до яких відносяться можливості проводити обробку значних обсягів даних із використанням математичного апарату по обробці великих даних – Data Mining. Результати обробки над апаратними (програмними) методами дозволяють визначити або винайти такі дані, яких в безпосередніх замірах не було видно. Технології Data Mining дозволяють використання експертних оцінок на даних прямого вимірювання, що неодмінно призводитиме до об'єктивності. Data Mining, на відміну від експертних методик, знаходить об'єктивні закономірності між різними факторами, таким чином дозволяючи мінімізувати вплив суб'єктивного людського фактору на прийняття рішень. Автори звертають увагу на перспективність використання датчиків опосередкованого виконання замірів в електроенергетичних системі що на базі цифрових технологій забезпечить можливість проведення більш глибокого аналізу реальних систем, що може привести до якісних змін енергетики в цілому.

**Ключеві слова:** цифрова енергетика; діагностика мережі; якість електрики; коронний розряд в мережі; виміри допоміжних параметрів; значні обсяги даних; використання сучасних математичних методів обробки великих масивів даних

## ELEMENTS OF DIGITAL ENERGY IN THE CONTROL OF THE STATE OF THE NETWORK, BUILT ON MEASUREMENTS OF AUXILIARY PARAMETERS

O. GRYB, I. KARPALIUK, S. SHVETS, N. RUDEVICH

Department of Automation and Cybersecurity, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT.** The article deals with the issue of transition of power engineering technologies to digital stations. An overview of the Siemens and ABB materials that de facto set standards for digital technology for energy. The creation of digital stations addresses issues that have not been addressed in this connection so far. Therefore, a triad was formed: digital control - equipment state monitoring - cybersecurity. Proceeding from such a triangle, energy in the digital incarnation acquires new faces, which opens up new possibilities for the use of diagnostics and data collection by sensors built on mediated data, and accordingly, the number of sensors increases significantly if we take into account the possibility of monitoring the primary technological processes. In this case, the amount of incoming data grows significantly. In accordance with current trends and increasing requirements for the quality of electricity in the network. One of the factors of the spoofed form of a grid on the network is the corona discharges that occur on the network and on the equipment, even during the interception to the digital station. Leading companies are developing devices and systems for diagnosing the presence of a corona discharge in the network according to non-electronics parameters. An example of such measurements is the ability to diagnose non-direct veriers in the network. Such measurements should lead to an increase in data volume. Accordingly, the processing of such data arrays becomes possible with the use of digital technologies, which include the ability to process large volumes of data using the mathematical apparatus for processing large data - Data Mining. The results of processing by hardware (software) methods allows to determine or invent such data, which in direct measurements were not visible. Data Mining technologies allow expert estimates to be used on direct measurement data, which will inevitably lead to objectivity. Data Mining, in contrast to expert methods, finds objective patterns between different factors, thus minimizing the influence of the subjective human factor on decision making. The authors draw attention to the promising use of indirect measurement sensors in the power system, which, based on digital technologies, will provide an opportunity for a more profound analysis of real systems, which can lead to qualitative changes in the energy sector as a whole.

**Keywords:** digital energy; network diagnostics; quality of electricity; corona discharge on the network; measurements of auxiliary parameters; significant volumes of data; use of modern mathematical methods of processing large data arrays; Data Mining

© О. Г.Гриб, І. Т. Карпалюк, С. В. Швець, Н. В. Рудевич, 2019

## Вступ

Елементи цифрових технологій все частіше використовуються в технологічних процесах і системах енергетичного комплексу. Найпотужніші компанії енергетичної сфери розробляють цифрові системи, модулі і навіть пропонують повністю цифрові рішення в вигляді цифрової підстанції. Наприклад розробки фірми Siemens [1] Вочевидь що цифрові рішення вимагають нових підходів до оцінки таких систем. Так компанія Siemens пропонує представлення цифрової станції як тріаду Цифрове управління – моніторинг стану обладнання – кібербезпека. Компанія АВВ також пропонує погляди на сучасну енергетичну стратегію розвитку енергетики в цифровому напрямі як пов'язану декількома параметрами в які обов'язково входять кібербезпека, моніторинг якості електричної енергії [2].

## Мета роботи

Показати тенденції розвитку енергетики в напрямку цифрової енергетики. Відмінністю цифрової енергетики є значне охоплення технологічних циклів датчиками і приладами, які мають онлайнвий поточковий вихід даних. За таких умов контроль якості електричної енергії можливо виконати з більшою точністю, а відповідно і зменшити терміни реакції системи керування. Показати, що спотворення форми напруги в мережі викликається і коронними розрядами в лінії і на обладнанні навіть при переході до цифрової енергетики. Що підтверджується розробками провідних світових фірм по контролю наявності коронного розряду. Але, можливо використання броби даних за методиками Knowledge Discovery in Databases – тобто технології видобування знань з баз даних. Показати перспективність використання технологій Data Mining як вкрай необхідну для обробки даних та інтерпретації отриманих результатів.

## Виклад основного матеріалу

Зрозуміло, що цифрове управління було ще до введення терміну цифрова станція, але комплексний зв'язок різного рівня цифрового керування дозволив сприйняти поняття по новому, це вже не тільки віддалений пульт керування модулем але й можливість отримання розширеного одночасного управління декількома системами в режимі реального часу і ще до того можливість управління технологічними процесами, які не підключалися зазвичай до систем телеметрії. Співробітники фірми Siemens трактують поняття цифрової тріади наступним чином: Під цифровим управлінням розуміють – цифрове управління на рівні процесів. Моніторинг стану обладнання – використання даних, що отримуються від цифрових підстанцій для оптимізації експлуатації. Кібербезпека – забезпечення цифрової безпеки пропонуємих рішень. Ось які переваги цифрової станції виділяють

самі співробітники фірми Siemens: По-перше – безпека інвестицій в майбутньому за рахунок застосування модульних (адаптуємих) апаратних платформ, гнучких наборів стандартних функцій, що забезпечують спільну роботу пристроїв різних виробників. При цьому набагато простіше вирішуються питання експлуатації і технічного обслуговування обладнання різних виробників за рахунок стандартизації цифрових функцій, сигналів і сервісів; По-друге – скорочення кількості фізичних пристроїв і перехід на єдину платформу, відмова від традиційної асоціації з пристроями з одночасним забезпеченням 100 % резервування функцій в цифровому форматі. При цьому витрати на оперативне і технічне обслуговування фізичних пристроїв скорочуються пропорційно до їх кількості і підвищується зручність їх обслуговування; В третє – скорочення витрат на оперативне і технічне обслуговування комплексу релейного захисту та автоматика об'єкта за рахунок повноцінної самодіагностики мікропроцесорних пристроїв і контролю справності комунікації між пристроями, а також за рахунок використання системи управління станом обладнання, яка попереджає можливі пошкодження і регулює частоту технічного обслуговування відповідно до зносу обладнання.

Такий перелік переваг надає фірма, що не тільки розробляє але й постачає цифрове обладнання для енергетики. До того ж слід додати можливість використання не стандартного для енергетики вимірювального обладнання. Цифрові системи допускають використання груп аналогово-цифрових перетворювачів. Що дозволяє отримати паралельне зняття інформації з різних ділянок енергетичної системи – отримання одномоментних за часом інформаційних зрізів.

При розповсюдженні цифрових систем в енергетиці на новий рівень стає питання кібербезпеки. Цифрова підстанція має на увазі повсюдне використання систем зв'язку. Це з одного боку спрощує і прискорює управління, але з іншого боку відкритомість доступу до можливих кібератак і неправомірному використанню даних. Тільки інтегрований підхід, що дозволяє організувати захист у всіх вузлах може забезпечити запобігання можливих атак. Кібербезпека включає в себе наступні елементи: захист систем зв'язку, захист системи управління підстанцією або мережею, організацію контролю доступу, моніторинг стану системи захисту і готовність до майбутніх викликів. Компанія «Сіменс», як один з піонерів в області промислової ІТ безпеки протягом десятиліть, пропонує комплексні заходи та технології цифрового захисту в свою концепцію цифрової підстанції – від безперервного аналізу стану ризиків кібербезпеки до запобігання несанкціонованого доступу і втручання в захист від людської і технічної помилки і збоїв інфраструктури [1]. Така трактовка кібербезпеки і її важливості виникла напевно в наслідок використання вже встановлених цифрових станцій в Финляндія и Німеччині.

Аналогічні роботи з розробки і впровадженню новітніх цифрових рішень пропонує і інша компанія ABB [2]. В даному випадку переваги цифрової підстанції торкнуться нового підходу, що до можливості зміни класу напруг на підстанції і відповідно зміни передавання потужності. Такі параметри вкрай актуальні для підключення до мережі вітрогенераційного парку. А для сучасній генерації що будується на засадах зеленої енергетики (сонячній, вітровій), питання зміни потужності є вкрай важливим. Що пропонується вирішити за допомогою нових технічних можливостей цифрової підстанції.

Виходячи з обзору стає очевидно, що техніко-програмні комплекси цифрової станції в різних видах виконання будуть мати можливість оцінювати параметри електроенергетичної системи на первинних технологічних процесах, але й до того матимуть змогу отримувати додаткові показники не прямого вимірювання за рахунок використання цифрових технологій Data mining. [3, 4]. Технології Data mining дозволяють використання експертних оцінок на даних прямого вимірювання, що неодмінно призводитиме до об'єктивності. Data Mining, на відміну від експертних методик, знаходить об'єктивні закономірності між різними факторами, таким чином дозволяючи мінімізувати вплив суб'єктивного людського фактора на прийняття рішень. Тобто дані прямих замірів не дозволяють в багатьох випадках прийняти відповідне рішення. Як кажуть тут потрібен «досвід управління» системою. І рівень такого досвіду відображається на результатах прийнятих рішень. Відповідно і час реакції на позаштатну ситуацію значно залежить від «досвіду управління» і в такому випадку не задовольняє сучасним вимогам в енергетичним комплексі.

Технології що використовуються в Data Mining це: машинне навчання і візуалізація (візуальне представлення інформації). Якість візуалізації визначається можливостями графічного відображення значень даних. Варіювання графічного представлення шляхом зміни кольорів, форм та інших елементів спрощує виявлення прихованих залежностей.

Обидві технології доповнюють один одного в процесі здійснення «Data Mining»-аналізу. Візуалізація використовується для пошуку винятків, загальних тенденцій і залежностей і допомагає в отриманні даних на початковому етапі проекту. Машинне навчання використовується пізніше для пошуку залежностей у вже налагодженому проекті.

Машинне навчання передбачає використання різних методів, наприклад: дерев рішень; асоціативних правил; генетичних алгоритмів; нейронних мереж.

Дерева рішень призначені для класифікації даних, вони використовують вагові коефіцієнти для розподілу елементів даних на все більш і більш дрібні групи. Метод асоціативних правил класифікує дані на основі набору правил, подібних правил в експертних системах. Ці правила можна генерувати, використовуючи процес пошуку і перевірки комбінацій правил, або витягувати правила з дерев рішень. У нейронних

мережах знання представлені у вигляді зв'язків, що з'єднують набір вузлів. Сила зв'язків визначає залежності між факторами даних.

Ефективність методів машинного навчання в основному визначається їх здатністю досліджувати більшу кількість взаємозв'язків даних, ніж може людина. А системи цифрових підстанцій в повній мірі відповідають можливостям введення систем машинного навчання.

Щодо основних алгоритмів Data mining так до них можна віднести:

Асоціативні правила: виявляють причинно-наслідкові зв'язки і визначають ймовірності або коефіцієнти достовірності, дозволяючи робити відповідні висновки. Правила представлені в формі «якщо <умови>, то <висновок>». Їх можна використовувати для прогнозування або оцінки невідомих параметрів (значень).

Дерева рішень і Алгоритми класифікації: визначають природні «розбивки» в даних, засновані на цільових змінних. Спочатку виконується розбивка по найбільш важливим змінним. Гілка дерева можна уявити як умовну частину правила. Найбільш часто зустрічаються прикладами є алгоритми класифікаційних і регресійних дерев (Classification and regression trees, CART) або хі-квадрат індукція (Chi-squared Automatic Induction, CHAID).

Штучні нейронні мережі: для передбачення значення цільового показника використовується набори вхідних змінних, математичних функцій активації та вагових коефіцієнтів вхідних параметрів. Виконується ітеративний навчальний цикл, нейронна мережа модифікує вагові коефіцієнти до тих пір, поки що передбачається вихідний параметр відповідає дійсному значенню. Після навчання нейронна мережа стає моделлю, яку можна застосувати до нових даних з метою прогнозування.

Генетичні алгоритми: використовує ітеративний процес еволюції послідовності поколінь моделей, що включає операції відбору, мутації і схрещування. Для відбору певних особин і відхилення інших використовується «функція пристосованості» (fitness function). Генетичні алгоритми в першу чергу застосовуються для оптимізації топології нейронних мереж і ваг. Однак, їх можна використовувати і самостійно, для моделювання.

Зіставлення завдяки чому робляться висновки (Memory-based Reasoning, MBR) або висновок, заснований на прецедентах (Case-based Reasoning, CBR) Ці алгоритми засновані на виявленні деяких аналогій в минулому, найбільш близьких до поточної ситуації, з тим щоб оцінити невідоме значення або передбачити можливі результати (наслідки).

Кластерний аналіз підрозділяється гетерогенні дані на гомогенні або напівгомогенні групи. Метод дозволяє класифікувати спостереження за низкою загальних ознак [3, 4, 5].

Цифрові підстанції мають в своєму арсеналі багато датчиків, що об'єднують в одну систему моніто-

рингу. Але в той же час для цифрових систем з'являється можливість використовувати системи опосередкованого вимірювання, бо цифрові системи дозволяють обробляти значно більшу кількість каналів ніж аналогові системи.

Створення вимірювальних систем на технологіях опосередкованої дії розкриває нові горизонти діагностики і прогнозування роботи електроенергетичних комплексів.

Робота електротехнічної системи створює обурення в середовищі і це обурення можна виміряти при відомих співвідношеннях із реальним параметрам. Це дуже важливо для оцінки втрат потужності в лініях і на обладнанні підстанцій. І окремо стоїть питання оцінки якості електричної енергії в мережі приладами опосередкованої дії. Одним із чинників втрат в високовольтних мережах є наявність коронних розрядів. Такі розряди не тільки знімають частку навантаження, але й спотворюють форму струму в самій мережі. На даний момент проконтролювати наявність коронного розряду в електричних системах дуже важко. Спотворення споживачами форми струму не дозволяє однозначно відповісти на питання про наявність на певній ділянці втрат через коронний розряд. Але за вторинними признаками можна виявити навіть локацію коронного розряду і його потужність.

Так є взаємозв'язок між ультрафіолетовим випромінюванням і наявністю коронного розряду на електричному обладнанні. [6]

Сонячне випромінювання перекриває спектр випромінювання коронного розряду.

Тому знайти коронний розряд за оптичним випромінюванням в денний час складно. Але за дальнім ультрафіолетовим випромінюванням можливо це зробити. І такі прилади було розроблено компанією UViRCO, які налаштовані на сприйняття відповідного спектру випромінювання коронного розряду, що підтверджує тезу про можливість використання для діагностики і контролю опосередкованих вимірювань.

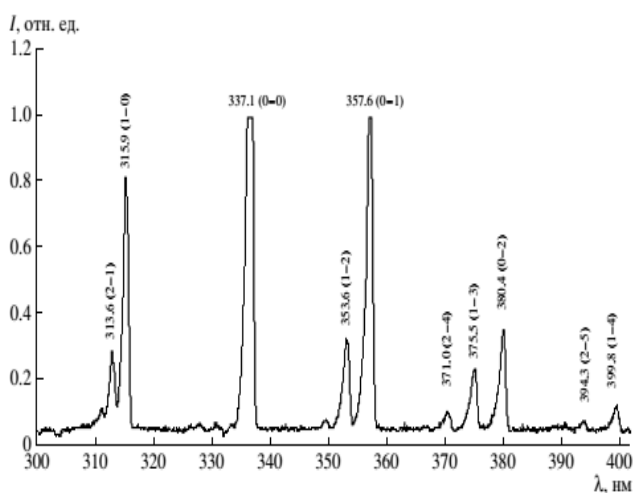


Рис. 1 – Спектр випромінювання коронного розряду (прикатодної області розряду негативної полярності в повітрі в режимі імпульсів Тричела) [6]

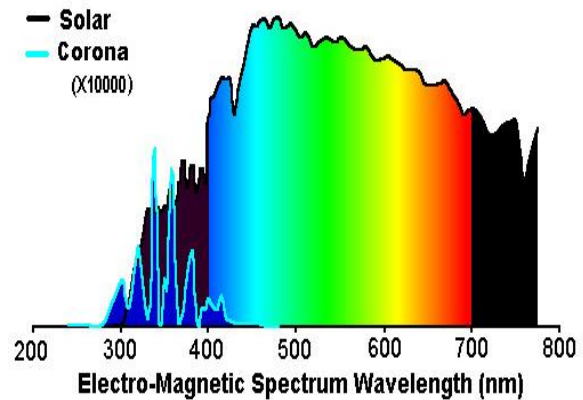


Рис. 2 – Спектри випромінювання коронного розряду і Сонця [7]

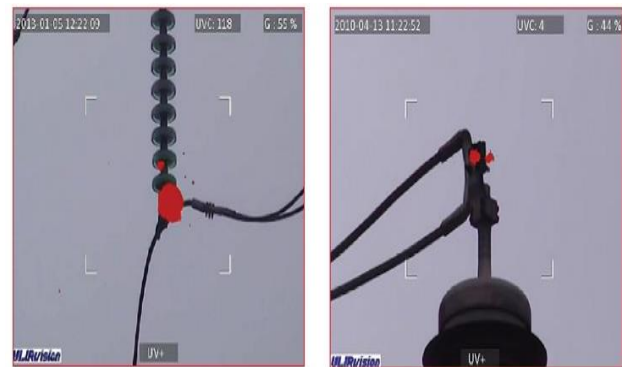


Рис. 3 – Наявність коронного розряду на елементах ЛЕП [8]

Зрозуміло, що такий приклад дозволяє сформулювати загальну тенденцію, яка поступово набирає чинності для енергетики із цифровими системами або цифрової енергетики. Значна кількість даних від прямих і опосередкованих вимірювань дозволить більш повно аналізувати стан електроенергетичних вузлів, ділянок і системи в цілому.

А якщо взяти до уваги, що вимоги до якості електричної енергії постійно зростають. В роботі [10] наведено властивості якості електричної енергії:

- відхилення напруги;
- коливання напруги;
- провал напруги;
- тимчасове перенапруження;
- несинусоїдальність напруги;
- несиметрія трифазної системи напруг;
- відхилення частоти;
- імпульс напруги.

А відповідно до [11] показникам якості електричної енергії відповідають наступні властивості:

- усталене відхилення напруги;
- розмах зміни напруги;
- доза флікера (для мережі 0,4 кВ);
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги;

- коефіцієнт  $n$ -ої гармонійної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності;
- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю;
- відхилення частоти;
- тривалість провалу напруги;
- імпульсна напруга;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги.

Зрозуміло, що для забезпечення відповідності таким вимогам контролю якості електричної енергії потрібно контролювати значну кількість показників. Для всіх зазначених показників розроблені відповідні прилади і датчики. І за умови цифрової енергетики такі прилади мають працювати в автоматичному режимі. Тобто потік даних буде надходити безперервно. Потік даних буде не тільки зростати в обсязі (збільшення кількості вимірювальних приладів), але й змінюватиме якісну складову (перелік даних буде інший). А відповідно до збільшенню матриці оперативних даних і має змінитися методика обробки таких даних. Авторами пропонується використовувати для обробки таких даних додаткові математичні методи DataMining [12].

### Обговорення результатів

Обробка даних вже не задовольняє вимогам отримання тільки результатів безпосередніх замірів, а вимагає використання KDD (Knowledge Discovery in Databases) технології добування знань з баз даних. Це процес пошуку корисних знань в «сирих даних». KDD включає в себе питання підготовки даних, вибору інформативних ознак, очищення даних, застосування методів Data Mining (DM), пост обробки даних та інтерпретації отриманих результатів. Привабливість цього підходу полягає в тому, що в не залежності від предметної області застосовуються одні й ті самі операції:

1 Підготовка початкового набору даних. Цей етап складається зі створення набору даних, в тому числі злиття даних із різних джерел, визначення вибірки, яка і буде надалі аналізуватися. Для цього повинні існувати розвинені інструменти доступу до різних джерел даних: файлів різних форматів, баз даних, облікових систем.

2 Попередня обробка і очищення даних. Для того щоб ефективно застосовувати методи аналізу, слід звернути серйозну увагу на питання попередньої обробки даних. Дані можуть містити пропуски, шуми, аномальні значення і т.д. Крім того, дані можуть бути надлишкові, недостатні, і навпаки, іноді розмірність початкового простору може бути дуже великою, і тоді бажано застосування спеціальних алгоритмів зниження розмірності: відбір найбільш значущих ознак і відображення даних в простір меншої розмірності. У деяких задачах потрібно доповнити дані апріорної

інформацією. Дані повинні бути якісні і коректні з точки зору використовуваного методу аналізу.

3 Трансформація даних. Для різних методів аналізу потрібні дані, підготовлені в спеціальному вигляді. Наприклад, деякі методи аналізу в якості вхідних полів можуть використовувати тільки числові дані, а деякі, навпаки, тільки категоріальні.

4 Інтелектуальний аналіз даних. На цьому кроці застосовуються різні алгоритми для знаходження знань-нейронні мережі, дерева рішень, алгоритми кластеризації і встановлення асоціацій і т.д.

5 Пост обробка даних. Тестування, інтерпретація результатів і практичне застосування отриманих знань.

В результаті використання методів Data Mining можливо виявити такі типи закономірностей [13]: асоціація, послідовність, класифікація, кластеризація і прогнозування. Використання цих закономірностей дозволяють виконати більш глибоку трактовку отриманих даних із виявленням найбільш значущих учасників створення тенденцій і в подальшому розробити різні варіанти прогнозування поведінки учасників. Таким чином можна досягти наприклад економії ресурсів на зменшенні втрат по даним опосередкованих вимірювань

### Висновки

Розвиток цифрових систем контролю і управління в енергетиці призводять до можливості використання моніторинг стану обладнання побудованого на непрямих вимірюваннях. Метод побудовано на можливості використання даних, що отримуються від датчиків цифрових підстанцій і після обробки масиву даних отримуємо додаткові параметри для оптимізації експлуатації обладнання і досягнення оптимізації експлуатаційних режимів. Переваги наведеної методики обробки даних з датчиків цифрових станції дозволяє також визначити ненормальні режими роботи, або управління обладнанням станцій що дозволяє визначити потенційну загрозу перехоплення управління обладнанням. Що може значно знизити можливість керування обладнанням із зовні. Роботи в даному напрямі планується продовжити, так як вважаємо напрям перспективним з точки зору не тільки моніторингу якості параметрів в мережі, алей й одного із ступенів кібернетичного захисту мережі.

### Список літератури

1. Цифровая подстанция. Технологии и системы компании Сименс режим доступу: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1543828892.f278d576-62bf-4c19-b9ef-0e63b6cf2cfb.ru-digital-substation.pdf> дата 20190217
2. АBB построит первую гибридную подстанцию в Марокко. режим доступу: <http://digitalsubstation.com/blog/2017/08/02/abb-postroit>

- pervuyu-gibridnuyu-podstantsiyu-v-nbsp-marokko/ дата 20190217
3. **Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R** *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining* AAAI/MIT Press: 1996
  4. **Gregory Piatetsky-Shapiro** *Machine Learning and Data Mining*. Course Notes Fall 2003
  5. **Мусаев А.А** Алгоритмы аналитического управления производственными процессами Автоматизация в промышленности. 2004, №1, с. 30-35.
  6. Особенности излучения коронного разряда отрицательной полярности в воздухе в режиме импульсов Тричела/ **В.И Карась** и др. *Физика плазмы*, 2008, том. 34, №10, с. 1-8.
  7. **Wallis, J.** 2015. Making the invisible visible: UViRCO, an innovation success story. In: The 5th CSIR conference, CSIR ICC, Pretoria, South Africa, 8 -9 October 2015.
  8. **G. G. Karady, G. Besztercey and M. W. Tuominen**, "Corona caused deterioration of ADSS fiber-optic cables on high voltage lines," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 4, pp. 1438-1447, Oct. 1999.
  9. **Christo van der Walt** "Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera", July 15th, 2016, Published in *Articles: EE Publishers* <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html> (Accessed 27 February 2019). (Eng)
  10. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии: Монография / [Онищенко В.А, Самойленко И.А., Гриб О.Г., Жаркин А.Ф., Васильченко В.И., Ущачовский К.В., Сендерович Г.А., Светелик А.Д., Кондратенко К.И., Довгалиук О.Н., Щербаклова П.Г., Захаренко Н.С.] / Под ред. В.А. Онищенко. – Харьков: ПП «Граф-Икс», 2013. – 329 с.
  11. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Минск.: ИПК Изд-во стандартов. — 1998. — 30 с.
  12. **Leskovec J.** *Mining of Massive Datasets* / **Jure Leskovec Anand Rajaraman, Jeffrey David Ullman** // Stanford Univ. – 2010.
  13. **Hussain, Sadiq** *Survey on Current Trends and Techniques of Data Mining Research*. London Journal of Research in Computer Science and Technology.- 2017.
- References (transliterated)**
1. Tcifrovaia podstantsiia. Tekhnologii i sistemy` kompanii Siemens access mode: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1543828892.f278d576-62bf-4c19-b9ef-0e63b6cf2cfb.ru-digital-substation.pdf> date 20190217
  2. ABB postroit pervuiu gibridnuuu podstantciuu v Marokko. access mode: <http://ditalsubsttion.com/blog/2017/08/02/abb-postroit-pervuyu-gibridnuyu-podstantsiyu-v-nbsp-marokko/date 20190217>
  3. **Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R** *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining* AAAI/MIT Press: 1996
  4. **Gregory Piatetsky-Shapiro** *Machine Learning and Data Mining*. Course Notes Fall 2003
  5. **Musaev A.A** *Algoritmy` analiticheskogo upravleniia proizvodstvenny`mi protsessami Avtomatizatsiia v promy`shlennosti*. 2004, №1, p. 30-35.
  6. Osobennosti izlucheniia koronnogo razriada otritcatel`noi poliarnosti v vozdukhe v rezhime impul`sov Trichela/ **V.I Karas`** i dr. *Fizika plazmy`*, 2008, tom. 34, №10, p. 1-8.
  7. **Wallis, J.** 2015. Making the invisible visible: UViRCO, an innovation success story. In: The 5th CSIR conference, CSIR ICC, Pretoria, South Africa, 8 -9 October 2015.
  8. **G. G. Karady, G. Besztercey and M. W. Tuominen**, "Corona caused deterioration of ADSS fiber-optic cables on high voltage lines," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 4, pp. 1438-1447, Oct. 1999.
  9. **Christo van der Walt** "Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera", July 15th, 2016, Published in *Articles: EE Publishers* <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html> (Accessed 27 February 2019). (Eng)
  10. Analiz i ocenka e`konomicheskikh ushcherbov ot nizkogo kachestva e`lektricheskoi` e`nergii: Monografiia / [**Onishchenko V.A, Samoilenko I.A., Grib O.G., Zharkin A.F., Vasilchenko V.I., Ushchapovskii` K.V., Senderovich G.A., Svetelik A.D., Kondratenko K.I., Dovgaliuk O.N., Shcherbakova P.G., Zaharenko N.S.**] / Pod red. **V.A. Onishchenko**. – Kharkov: PP«Graf-Iks», 2013. – 329 pp.
  11. GOST 13109-97. E`lektricheskaiia e`nergiia. Sovmestimost` tekhnicheskikh sredstv e`lektromagnitnaia. Normy` kachestva e`lektricheskoi` e`nergii v sistemakh e`lektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia. — Minsk.: IPK Izd-vo standartov. — 1998. — 30 pp.
  12. **Leskovec J.** *Mining of Massive Datasets* / **Jure Leskovec Anand Rajaraman, Jeffrey David Ullman** // Stanford Univ. – 2010.
  13. **Hussain, Sadiq** *Survey on Current Trends and Techniques of Data Mining Research*. London Journal of Research in Computer Science and Technology.- 2017

#### Відомості про авторів (About authors)

**Гриб Олег Герасимович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: [oleg47gryb@gmail.com](mailto:oleg47gryb@gmail.com).

**Oleg Gerasimovich Gryb** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Department of Automation and Cybersecurity, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE; <http://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: [oleg47gryb@gmail.com](mailto:oleg47gryb@gmail.com).

**Карпалюк Ігор Тимофійович** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизація та кібербезпека енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: [humpway@gmail.com](mailto:humpway@gmail.com).

**Ihor Timofeevich Karpaliuk** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Automation and Cybersecurity, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; <http://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: [humpway@gmail.com](mailto:humpway@gmail.com).

**Швець Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизація та кібербезпека енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3716-141X>; e-mail: [se55sh32@gmail.com](mailto:se55sh32@gmail.com).

**Sergiy Viktorovich Shvets** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Automation and Cybersecurity, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; <http://orcid.org/0000-0002-3716-141X>; e-mail: [se55sh32@gmail.com](mailto:se55sh32@gmail.com).

**Рудевич Наталія Валентинівна** – доктор педагогічних наук, професор кафедри автоматизація та кібербезпека енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2858-9836>; e-mail: [n.rudevich@ukr.net](mailto:n.rudevich@ukr.net).

**Natalia Valentinovna Rudevich** – Doctor of Pedagogic Sciences, Professor at the Department of Automation and Cybersecurity, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; <http://orcid.org/0000-0002-2858-9836>; e-mail: [n.rudevich@ukr.net](mailto:n.rudevich@ukr.net).

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Гриб, О. Г.** Елементи цифрової енергетики в контролі стану мережі, що побудовані на вимірах допоміжних параметрів / **О. Г. Гриб, І. Т. Карпалюк, С. В. Швець, Н. В. Рудевич** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 58-64. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.08.

*Please cite this article as:*

**Gryb, O., Karpaliuk, I., Shvets, S., Rudevich, N.** Elements of digital energy in the control of the state of the network, built on measurements of auxiliary parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **20** (1345), 58-64, doi:10.20998/2409-9295.2019.20.08.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Гриб, О. Г.** Элементы цифровой энергетики в контроле состояния сети, которые построены на измерениях косвенных параметров / **О. Г. Гриб, И. Т. Карпалюк, С. В. Швец, Н. В. Рудевич** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Электрические машины и электромеханическое преобразование энергии.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 58-64. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.08.

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматривается вопрос перехода технологий электроэнергетики к цифровым станциям. Приведен обзор материалов фирм Siemens и АBB которые де-факто устанавливают стандарты цифровых технологий для энергетики. Создание цифровых станций затрагивает вопросы, которые до сих пор не рассматривались в такой связке. Поэтому была сформирована триада: цифровое управление - мониторинг состояния оборудования - кибербезопасность. Исходя из такой триады энергетика в цифровом воплощении приобретает новые грани, что открывает новые возможности для использования диагностики и сбора данных датчиками построенными на косвенных данных, и соответственно количество датчиков значительно возрастает если еще принять во внимание возможности выполнять мониторинг первичных технологических процессов. В таком случае значительно возрастает объем поступающих данных. Соответственно с современными тенденциями и растут требования к качеству электричества в сети. Одним из факторов повреждения формы напряжения в сети есть коронный разряд, который возникает в сети и на оборудовании даже во время перепада к цифровым станциям. Ведущие фирмы разрабатывают приборы и системы по диагностике наличия короны разряда в сети по не электрическим параметрам. На примере таких замеров показана возможность диагностики не прямыми измерениями в сети. Такие замеры должны приводить к увеличению объема данных. Согласно обработки таких массивов данных становится возможным при использовании цифровых технологий, к которым относятся возможности проводить обработку больших объемов данных с использованием математического аппарата по обработке больших данных - Data Mining. Результаты обработки над аппаратными (программными) методами позволяет определить или изобрести такие данные, которых в непосредственных замерах не было видно. Технологии Data Mining позволяют использовать экспертные оценки на данных прямого измерения, что непременно приведет к объективности. Data Mining, в отличие от экспертных методик, находит объективные закономерности между различными факторами, таким образом позволяя минимизировать влияние субъективного человеческого фактора на принятие решений. Авторы обращают внимание на перспективность использования датчиков опосредованного выполнения замеров в электроэнергетических системах, которые на базе цифровых технологий обеспечивают возможность проведения более глубокого анализа реальных систем, что может привести к качественным изменениям энергетики в целом.

**Keywords:** цифровая энергетика; диагностика сети; качество электричества; коронный разряд в сети; измерения вспомогательных параметров; значительные объемы данных; использование современных математических методов обработки больших массивов данных, Data Mining

Надійшла (received) 24.08.2019